25.磁性体におけるWave frontとCurved Bloch wallの動力学 : multiple scaling法による解析(パターン形成,運動と統計,研究会報告)

中村, 勝弘; Lakshmanan, M.

25．磁性体におけるWave front とCurved Bloch wall の動力学
— multiple scaling 法による解析 —

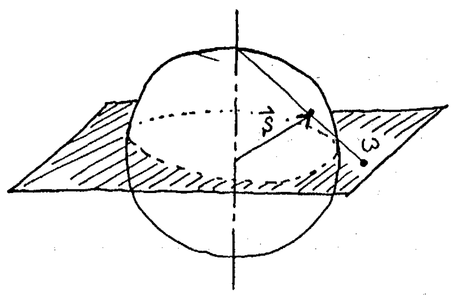
福岡工大　中 村 勝 弘
京大・理　M. Lakshmanan

Topological singularity の Kinetics や Pattern 形成の問題は，液晶の Williams domain や流体の Rayleigh-Benard convection 等に関連して研究されているが，ここでは非平衡磁性体における同様な問題を考察する。特に，薄膜磁性体では，外部磁場を制御すると Curved Bloch wall の周期構造や内部自由度 (chirality や helicity) を持つ bubble が出現することは良く知られている。他方，強磁場下の磁性体の動力学を１次元的にとり扱うと，絶対安定な pulse soliton が理論的に期待できる。実験との比較のため，この soliton を高次元化することは意味ある問題である。

磁性体の場合，流体の Navier-Stokes 方程式に相当するものは，Landau-Lifshitz-Gilbrt 方程式である。まず第１にGilbert damping の厳密な取扱いについて報告し，続いて，第２に１次元 kink や pulse solitonの高次元版である curved Bloch wall や wave front の kinetic equation を multiple-scaling 法で導出する。

spin 変数は今の場合，場の量になるが，$(s^x(\vec{r}))^2+(s^y(\vec{r}))^2+(s^z(\vec{r}))^2=1$ という constraint からくる非線形効果をうまく処理するために，stereographic variable ω に変換する (右図参照)。新しい場の量 ω で運動方程式を書き換えると，例えば

$$
\begin{aligned}
&i(1+\omega\omega^*)\omega_t+(1-i\lambda)[(1\\
&\quad+\omega\omega^*)\nabla^2\omega-2\omega^*(\nabla\omega)^2+2A\omega(1\\
&\quad-\omega\omega^*)-\mu B^L(t)(1+\omega\omega^*)\omega]=0
\end{aligned}
$$



の形になる。但し，λ は Gilbert damping の大きさを意味し，A，$\mu B^L(t)$ は，各々，uniaxial anisotropy 及び振動型縦磁場をあらわす。上の式から自明なように damping の効果は，damping のない場合の方程式において時間を複素時間 $\tau=(1-i\lambda)t$ で置きかえることに相当する。この事実は，非平衡磁性体の動力学を著しく簡単にする[1]。

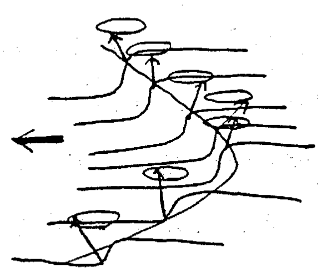
さて，damping がない系の (1＋1) 次元の運動方程式は kink 解 (metastable) 及び

pulse soliton 解(absolutely stable)を持ち，前者は x_0(位置)と ϕ_0(任意位相)で特徴づけられ，後者は更に ξ，η(巾や amplitude)を含む4個の parameter で特徴づけられる。driven field や curvature が競合的に共存すると，上の parameter は dynamic variable に転じる。 multiple-scaling 法を用いて，$\bar{x}=x-x_0$，$T=\varepsilon t$(時間)，$Y=\sqrt{\varepsilon}y$ ($Z=\sqrt{\varepsilon}z$)(横座標)，$h^T(t)=\varepsilon\bar{h}^T$，$h^L(t)=\varepsilon h^L$(振動磁場)……なる scaling をおこない，元の運動方程式に代入すると，ε について1次のオーダーの方程式から Bloch wall に対する方程式：

$$\begin{pmatrix} x_{0T} \\ \phi_{0T} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \lambda & -\frac{1}{\sqrt{2A}} \\ \sqrt{2A} & \lambda \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \nabla_{m\perp}^2 x_0 \\ \nabla_{m\perp}^2 \phi_0 \end{pmatrix}-h^L(t)\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2A}} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$+h^T(t)\begin{pmatrix} (\lambda\cos\phi_0+\sin\phi_0)/\sqrt{2A} \\ \cos\phi_0+\lambda\sin\phi_0 \end{pmatrix}$$

をえる。これは，diffusive coupling のある非線形方程式である。Curvature が Larmor 才差運動を curved Bloch wall に沿って誘起し，この才差運動の拡散により，界面の速度が決定されるという機構は，TDGL界面の Allen-Cahn 型の運動機構と決定的に異なる(上図参照)。Pulse soliton から導出される Wave front の場合も，同様な拡散型の方程式がえられる[2)]。上の方程式を解き，界面の fractral を議論することは今後の課題である。



参考文献

1) M. Lakshmanan and K. Nakamura; Phys. Rev. Lett. **53** (1984) 2497.

2) K. Nakamura and M. Lakshmanan; in preparation.